引文格式：叶远斌, 段宏山, 侯雪, 等. 基于北斗三号省级基准服务平台的设计与建设[J]. 地理空间信息, 2023, 21(10): 123-126. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.10.031

基于北斗三号省级基准服务平台的设计与建设

叶远斌[1,2,3]，段宏山[1,2,3*]，侯　雪[1,2,3]，徐　亮[1,2,3]，周　涛[1,2,3]，吕鹏军[1,2,3]，张紫琼[1,2,3]
（1. 广东省国土资源测绘院，广东 广州　510663；2. 广东省突发事件应急卫星定位与低空遥感技术研究中心，广东 广州 510663；
3. 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室，广东 广州 510663）

摘　要： 为了加快推进卫星导航定位基准服务领域关键技术、核心技术自主化，提升新型测绘基准服务质量和能力，通过北斗卫星导航定位基准服务国产化平台的研制，基于虚拟基准站数据的社会化基准服务技术研究，搭建了基于北斗三号的省级基准服务平台。经过功能测试、性能测试以及试运行，结果表明：该平台实时定位服务能力达到平面优于3 cm、高程优于5 cm的精度水平，可以满足产业化和社会化的服务要求。

关键词： 基准服务平台；北斗三号；自主可控；社会化应用
中图分类号： P228　　**文献标志码：** B　　**文章编号：** 1672-4623（2023）10-0123-04

Design and Construction of Provincial Benchmark Service Platform Based on Beidou-3

YE Yuanbin[1,2,3], DUAN Hongshan[1,2,3], HOU Xue[1,2,3], XU Liang[1,2,3], ZHOU Tao[1,2,3],
LYU Pengjun[1,2,3], ZHANG Ziqiong[1,2,3]
(1. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department Guangdong Province, Guangzhou 510663, China;
2. Guangdong Emergency Satellite Positioning and Low Altitude Remote Sensing Technology Research Center, Guangzhou 510663, China;
3. Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, MNR, Guangzhou 510663, China)

Abstract: To accelerate the autonomy of key and core technologies in satellite navigation and positioning benchmark services, and improve the quality and capability of new surveying and mapping benchmark services, we established a provincial-level benchmark service platform based on Beidou-3 through the development of a localization platform for Beidou satellite navigation and positioning benchmark services, and the research on socialized benchmark service technology based on virtual benchmark station data. After functional testing, performance testing and trial operation, the results show that the real time positioning service capability of platform reaches an accuracy level of better than 3 cm in plane and 5 cm in elevation, which can meet the service requirements of industrialization and socialization.

Key words: benchmark service platform, Beidou-3, autonomous and controllable, social application

广东省于2005年起建立了广东省卫星导航定位基准服务系统（简称GDCORS），目前并网基准站数量为209个，平均站间距约36 km，服务范围覆盖全省行政区域。现无偿向测绘行业用户提供统一测绘基准的三维、厘米级、北斗为主的卫星多模实时定位服务。GDCORS在维持全省测绘基准、满足测绘行业需求、服务数字经济产业、有效促进自然资源管理等方面，发挥着重要的作用，但GDCORS还存在如下问题：①核心数据解算和服务发播软件主要依赖国外商业软件，价格昂贵且对国产接收机兼容性差，无法实现基于北斗三号卫星导航定位关键技术自主可控；②现有系统运转模式基于物理基准站、专网环境进行数据处理和服务提供，服务内容和形式比较单一，不能很好地适应互联网实时高精度社会化位置服务应用需求；③目前高精度数据后处理服务采用人机交互方式进行，需要投入大量的人力物力，作业效率较低，不能满足大用户量的高精度解算需求；④缺少综合服务平台，无法有效地实现系统运行维护、监管、服务和成果共享等[1]。针对以上问题，本文研究基于北斗三号省级基准服务平台的建设方案，通过构建监管、服务、运维、共享于一体的综合性国产化服务平台，创新基于虚拟基准站网的服务发播方式，解决了基准站数据安全性

收稿日期：2023-03-14。
项目来源：广东省科技计划项目（2021B1212100003）；广东省国土资源测绘院2022年度广东省级“十四五”基础测绘新型测绘基准建设项目。
第一作者简介：叶远斌（1983—），高级工程师，主要从事卫星导航定位、土地调查等研究工作，E-mail：13826225200@139.com。
通信作者：段宏山（1974—），高级工程师，主要从事卫星导航定位、土地资源管理等研究工作，E-mail：13829792580@139.com。

与社会化位置服务需求的矛盾，实现了基于北斗三号系统卫星导航定位基准服务领域关键技术、核心技术自主化，建立了高效的社会化服务保障体系。

1 关键技术

1.1 北斗卫星导航定位基准服务国产化平台研制

针对我国高精度卫星导航定位服务长期依赖于GPS及国外相关软硬件设备的应用现状，研究了采用北斗三号系统为主开展广东省定位基准服务的理论方法，完成了多路径误差建模、区域误差解算与实时精细建模技术的自主化研制，基于国产软硬件平台研制了北斗区域地基增强服务系统，并深度融入了5G网络、云平台等新基建技术，首次实现了自主可控、全国产化软硬件设备的北斗卫星导航定位基准服务。

1.1.1 基准站多路径误差建模技术

采用多路径误差半天球格网点模型（MHGM）。该方法以测站间双差观测值残差为建模数据源，无需对双差进行映射处理，在保证建模数据精确可靠的同时，能够统一建立各测站上的半天球格网点模型。由于该方法直接采用双差观测值残差对多路径误差建模，因此无需使用特定的接收机设备即可较为简便的应用于现有GNSS数据处理模式，且测站间距离也不受硬件条件限制。

1.1.2 北斗区域误差解算技术

北斗网络RTK区域误差解算功能，可以对区域内的多个基准站进行数据时间同步，并统计各站点延迟情况；依据Delaunay三角剖分算法，将基准站组成三角网，获得待解算的基线。在基准站间待处理基线确定后，模块采用三步法确定所有待解基线的基准站间模糊度；而对于基准站网中新加入的基准站，模块会使用插值法和预测外推法实现基准站间模糊度的快速初始化和重收敛。在模糊度确定后，通过观测值计算出电离层延迟、对流层延迟等误差项，并建立形成区域误差改正模型。

1.1.3 北斗地基增强信息实时精细建模技术

格网改正数是利用周围3个及以上基准站间误差改正数内插得到。格网改正数的内插方法包括距离内插法（DIM）、线性内插法（LIM）、低阶表面拟合法（LSM）、克里金插值法（KRG）以及格网插值法（GRID）等多种，相关研究表明通常情况下各种方法插值性能的差异较小。另外，由于格网改正数的精度和可靠性关系到格网的服务质量，因此，格网改正数的质量控制对于优化格网服务质量十分重要。

格网改正数生成与质量控制的主要目的在于生成格网改正数的同时，给出每个改正数定量的精度指标。根据改正数精度指标，剔除精度较差的卫星，优化格网服务质量。本项目采用线性内插方法（LIM）生成格网改正数，同时采用电离层残差的内插不确定性（IRIU）、对流层残差内插不确定性（TRIU）、区域误差参数（FKP）估计精度3个指标共同定量给出改正数的精度。

1.2 基于虚拟基准站数据的社会化基准服务技术

针对广东省北斗卫星导航定位基准在社会化、大众化服务时存在的保密要求以及海量并发用户问题，提出了基于虚拟基准站观测网数据的互联网实时播发技术。结合中国测绘科学研究院基准站网安全保密方案，搭建超融合服务平台，并通过采用单向光闸的互联网数据传输方式，解决了移动专网存在网络盲区、物理基准站数据保密管理、海量并发用户等痛点问题，用户可安全可靠高效地在互联网端获取虚拟观测网和基准站格网点数据流，为基准服务的社会化推广奠定了基础。

1.2.1 基于稀疏格网的虚拟基准站重构组网技术

在进行虚拟基准站生成时，虚拟基准站的位置可以任意设定，但为了保持误差计算的准确性，一般要求虚拟基准站网形的站间距与物理基准站至少保持一致或者更加密集，相对于格网服务要求5 km甚至更小的间隔，此处可以按照30~50 km的物理基准站站间距来制定稀疏格网。在稀疏格网点虚拟基准站生成时，必须获得虚拟基准站处准确的相对大气改正，因此需要计算空间几何改正、电离层改正、对流层改正分量，再叠加到原始GNSS观测数据即可获取符合精度的虚拟观测数据。

受控网络内的物理基准站观测值经过网络RTK组网解算后，可以得到组网范围内的大气误差改正模型，根据自定义网形的稀疏格网点位置，进行大气误差改正和空间几何改正，即可形成虚拟基准站观测值，在经过单向光闸到达公网后，进行网络RTK组网重构解算和产品服务。

1.2.2 基于数字高程模型的格网生成精化技术

基于数字高程模型的格网生成精化技术充分考虑了格网内的高程变化趋势，对局部高差大的格网进行加密处理，解决了现有格网生成方法在局部海拔高差大的区域，容易出现的用户与格网点相对高差较大的问题，提高了该情况下用户服务精度。

本技术在现有只使用5 km等间隔作为划分条件的

基础上，利用读取到的数字高程模型，在格网点生成时缩小间隔，并按照数字高程模型得到的海拔高程，判断该格网点是否需要生成，从而实现格网生成的精化。

1.2.3　自适应格网生成技术

现有格网生成技术通常采用等间距格网点，若格网点间距过小，会增大系统计算量，浪费计算资源；若格网点间距过大，会降低格网点观测值精度，从而降低用户服务精度。本技术在生成格网点时，会尽可能的缩小格网点间距，保障用户服务精度，针对该方案带来的系统计算量大，浪费计算资源问题，本技术在应用过程中，默认只生成格网点位置，不进行增强信息的计算，根据用户请求情况动态调整进行增强信息计算的格网点，减少了不必要格网点的计算量资源消耗。

2　平台搭建

2.1　平台总体架构

平台采用虚拟化技术搭建基础设施环境，建设基于“内网+外网”的基准服务系统。整体框架采用MVC分层架构，自下而上分为支撑层、数据层、服务层、应用层和用户层。平台应用层包括服务与监管子系统、网络RTK数据处理子系统以及自动化数据后处理子系统[2-6]，实现全省基准站点数据的接收和管理工作，突破基准站接入的数量和数据格式限制，实时监控全省基准站点，实现基准站坐标框架网的稳定维持，切实保障基准站网观测数据安全，实现互联网定位服务，满足“互联网+”应用的需求；充分利用现有高精度数据处理软件实现毫米级静态自动后处理和坐标转换功能[7]，实现基准站坐标框架的自动监管，满足大容量的用户数据处理需求；打造一个权限明确、监管到位、业务清晰、内容丰富的位置服务平台，为管理人员和终端用户提供一个Web门户和统一归口，实现基准站、系统和用户三者实时状态的同步监测与展示，实现业务在线办理、信息查询、线上技术支持等，为职能部门提供实施监管的有力抓手。

2.2　平台运行架构

由于框架基准站和位置服务站数据均属于受控管理信息，在运行架构上只能使用专网进行传输，接入到专网内的服务平台，向管理员及专网卡用户提供服务。为了满足互联网大众用户的使用需求，在专网内的服务平台生成虚拟基准站数据，通过单向光闸传输至互联网环境的服务平台，使用虚拟基准站数据向互联网大众用户提供服务。该运行架构保证了框架基准站和位置服务站数据不在互联网上传输，最大程度的保证了基准站数据安全；同时利用虚拟基准站数据在互联网上提供服务，方便公众用户使用，促进CORS服务推广。

2.3　平台搭建过程

北斗三号设备升级。广东省国土资源测绘院于2022年对广东省卫星导航定位基准站进行了北斗化升级改造工作，对原有不支持北斗三号的接收机设备进行了全面更新替换，现基准站已全部支持北斗三号系统。

1）国产化自主可控改造。为实现广东省基准服务平台的全面国产化、自主可控，从软件、硬件层面进行了全面的国产化升级改造。北斗三号接收机使用国产司南导航、南方测绘品牌生产的基准站接收机设备，服务系统使用广东省国土资源测绘院与武汉大学卫星导航定位技术研究中心合作研发的平台系统，服务器资源使用国产服务器硬件和国产化的LAAS云管理平台。

2）基准服务搭建。广东省基准服务平台通过对CGCS2000框架站、似大地水准面模型、海洋深度基准模型的数据集成，实现了CGCS2000、1985国家高程基准、海洋深度基准3种不同的基准服务搭建。

3）社会应用发布。广东省基准服务平台利用虚拟基准站数据代替物理基准站，规避了物理基准站数据管理受控等缺陷，克服了专网存在的网络盲区，实现了互联网上的服务播发，完成了社会化的应用发布。

3　平台测试与试运行

3.1　功能测试

分别平台各个子系统实现的各项功能进行了测试。

1）网络RTK数据处理子系统通过接入广东省基准站数据，测试系统的基准站数据管理、区域误差解算、虚拟格网生成及实时产品发播等功能，重点测试了系统对北斗三号观测系统B1I、B2I、B3I、B1C、B2A全频点的数据解析和解算能力、对国产接收机数据的兼容能力等。

2）服务与监管子系统通过模拟管理员、用户以及运维人员登录服务与监管子系统的门户网站和个人中心，测试了不同用户角色对应具备的功能。

3）自动化后处理子系统通过解算广东省基准站坐标数据、用户静态观测数据等测试系统的静态数据预处理水平、自动调用GAMIT、Bernese、PANDA软件形成综合解算成果的能力等，并与人工解算的数据

结果比对，复核系统自动解算数据的准确性。

通过以上测试，结果表明平台实现的各项功能均可正常运行，与各项功能设计一致。

3.2 性能测试

对网络RTK数据处理子系统的实时定位性能进行了测试，在广东省范围内选取了150个B级GPS静态已知控制点，在每个控制点上进行GPS+GLO+BD2+BD3、BD2+BD3、BD3共3种卫星系统组合的实时定位精度测试，验证系统的内、外符合精度。测试结果见表1。

表1 内、外符合精度统计

系统	内符合精度/cm				外符合精度/cm			
	北方向	东方向	平面	高程	北方向	东方向	平面	高程
GPS+GLO+BD2+BD3	0.13	0.12	0.18	0.38	1.30	1.04	1.79	4.14
BD2+BD3	0.21	0.21	0.30	0.62	1.15	1.14	1.72	4.53
BD3	0.25	0.26	0.37	0.68	1.24	1.26	1.87	4.48

结果表明，采用3种卫星系统组合，网络RTK的实时定位精度相当，均达到平面优于3 m、高程优于5 m的精度水平，满足RTK服务指标要求。

3.3 试运行情况

为了检验整个系统是否能正常有效地运转，以及满足用户需求，开展了系统试运行，重点考量了系统运行环境、软硬件体系支撑结构、系统各项功能指标、系统综合性能指标情况。

1）网络RTK数据处理子系统自2022年1月面向全省测绘行业用户开放试运行，效果良好，经验证，GDCORS服务效率和服务质量较前明显提升，用户体验良好。同时在线用户数峰值达135个，上午固定率75%左右，下午固定率60%左右，较原有系统（50%左右）提升了30%以上。

2）自动化数据后处理子系统自2022年8月至2022年10月期间开展了试运行工作，期间共计处理了298个基准站的92 d数据，对10组用户数据完成了质量分析、数据解算和报告生成，试运行期间系统运行稳定，输出成果准确可靠，较原有数据处理方式，提升数据处理工效30%以上。

3）服务与监管子系统自2022年8月至2022年10月期间开展了试运行工作，期间模拟了9个管理员用户、11个企业用户、1个个人用户，共计进行了159条用户管理、220条专网卡业务、175条发票业务、47条技术支持业务、15条问题反馈，8条基准站建设规划服务。试运行期间系统运行稳定，服务成果准确可靠。

4 结 语

本文通过北斗卫星导航定位基准服务国产化平台的研制，以及基于虚拟基准站数据的社会化基准服务技术研究，搭建了基于北斗三号的省级基准服务平台，解决了关键技术国产化技术可控的瓶颈，利用不受限的虚拟基准站数据解决了数据安全问题，适应了互联网社会化服务的要求，同时通过搭建省级基准服务平台，实现了高精度数据后处理服务和监管、服务、运维、共享的一站式服务平台。经过测试和试运行表明，平台功能可以满足社会化服务需求，性能上相对于现有系统实现了较大幅度的提升。

参考文献

[1] 杜仲进. 基于北斗地基增强系统的位置服务关键技术研究[J]. 全球定位系统,2022,47(2):126-132

[2] 邓思胜,叶远斌,邓辰龙. BDS/GNSS虚拟基准站的网络RTK服务系统技术研究[J]. 测绘地理信息,2022,47(6):12-15

[3] 彭冬林,刘文建,丁华祥. 基于CORS的PPK服务平台设计与实现[J]. 地理空间信息,2019,17(10):114-117

[4] 余凤娇,杨映泉,赵云龙. 基于北斗CORS+地理信息系统位置服务平台的设计与实现[C]//信息学会2017年学术年会论文集,2017:570-575

[5] 刘邢巍,许超钤. 基于北斗的现代测绘基准数据综合服务平台设计与实现[J]. 全球定位系统,2018,43(2):104-108

[6] 李延龙,张生鹏,张永荣. 青海省新一代BDS高精度基准服务平台的构建[J]. 全球定位系统,2020,45(2):91-97

[7] 林晓静,向浩,梁斌. 面向北斗三号的湖北省北斗地基增强系统建设[J]. 全球定位系统,2022,47(4):106-112

[8] 董明旭,楚彬,刘紫平,等. 一种基于CORS的GNSS事后精密定位服务平台建设方法[J]. 测绘通报,2018(8):18-25